

VŠB-Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Energetiky

Tepelné čerpadlo voda-voda

Water to water heat pump

Student: Lukáš Titz

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Mojmír Vrtek

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Titz**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice
Téma: Tepelné čerpadlo voda-voda
Water to Water Heat Pump

Zásady pro vypracování:

Proveďte návrh vytápění a přípravy TUV s tepelným čerpadlem voda-voda pro rodinný dům ve vybrané lokalitě.

Práce bude obsahovat:

1. Stav a perspektivy využívání nízkopotenciálního tepla přírodních hmot v ČR.
2. Stanovení tepelné ztráty domu a potřeby tepla pro vytápění a přípravu TUV.
3. Návrh tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému.
4. Odhad přínosu nasazení TČ z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - Umístění a připojení tepelného čerpadla.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ J., VRTEK M. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8.

DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. Tepelná čerpadla. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.

TURNER W. C. Energy Management Handbook. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0–13–728098–X.

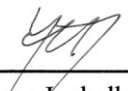
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

podpis studenta.....

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....

podpis studenta.....

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Titz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ant. Sovy 10 Opava, 74705

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TITZ, L. *Tepelné čerpadlo voda-voda: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 30 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Tématem této bakalářské práce je návrh tepelného čerpadla voda-voda pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody v rodinném domě. Teoretická část popisuje jednotlivé typy tepelných čerpadel, zabývá se jejich současným stavem využití a také jejich perspektivou v České Republice. V praktické části je uveden výpočet tepelných ztrát rodinného domu a následně stanovení potřeby tepla pro vytápění a ohřev užitkové vody v tomto domě. Následující část popisuje výběr konkrétního tepelného čerpadla z komerčních nabídek a jeho zapojením do otopného systému. V závěru bakalářské práce je porovnáváno vybrané čerpadlo z ekonomického a environmentálního hlediska.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

TITZ, L. *Water to water heat pump: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2011, 30 p. Thesis head: Vrtek, M.

The main theme of this bachelor thesis is a proposal of water to water heat pump for warming and preparing warm supply water in the family house. The theoretical part describes individual types of heat pumps, deals with their actual status and also their perspectives in the Czech Republic. The practical part concentrates on the calculation of heat losses of family house and consequently on assesment demand of heat for warming and preparing warm supply water in the house. The next part describes a choice of a concrete heat pump from commercial offers and its engagement to the heating system. Finally is compared the selected heat pump from the economical and environmental aspect.

Obsah

Přehled veličin:	1
1. Úvod	2
2. Nízkopotenciální teplo	3
2.1 Zdroje.....	3
3. Princip tepelného čerpadla	4
4. Typy tepelných čerpadel	5
4.1 Tepelné čerpadlo typu zem /voda využívající hloubkový vrt.....	5
4.2 Tepelné čerpadlo typu zem / voda využívající povrchový zemní kolektor	5
4.3 Tepelné čerpadlo typu voda / voda využívající povrchovou vodu	6
4.4 Tepelné čerpadlo typu voda / voda využívající podzemní vodu	7
4.5 Tepelné čerpadlo typu vzduch / voda	7
4.6 Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch	8
5. Stav tepelných čerpadel v ČR.....	9
5.1 Stav v Evropě.....	10
6. Perspektivita tepelných čerpadel.....	10
7. Efektivita tepelného čerpadla	11
8. Popis objektu	12
9. Výpočet tepelných ztrát.....	13
9.1 Složení jednotlivých vrstev	13
9.2 Výpočet součinitele prostupu tepla.....	13
9.3 Výpočet tepelných ztrát dle ochlazovaných ploch	14
9.4 Výpočet tepelných ztrát s přírážkami	15
9.5 Tepelná ztráta větráním	16
9.6 Celkové tepelné ztráty	17
10. Spotřeba tepla na vytápění	18
10.1 Výpočet denostupňovou metodou	18
11. Spotřeba teplé užitkové vody	19
12. Celková spotřeba tepla	20
13. Návrh tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému.....	21
14. Ekonomické zhodnocení.....	23
14.1 Výpočet množství energie pro ohřev TUV	23
14.2 Výpočet potřeby energie na vytápění	24

14.3Celková spotřeba el. energie	25
14.4Provozní náklady	25
14.5Návratnost.....	27
15. Environmentální hledisko	28
16. Závěr	29
17. Seznam použité literatury	30

Přehled veličin:

B	[$Pa^{0,67}$]	charakteristické číslo budovy
D	[$K.den$]	počet denostupňů
E	[Wh]	energie
L	[m]	délka spár otvíratelných částí oken a dveří
M		charakteristické číslo místnosti
N	[$Kč$]	investiční náklady
P	[W]	příkon
Q	[W]	tepelná ztráta
S	[m^2]	plocha
V	[$m^3.h^{-1}$]	objemový průtok
c	[$J/m^3.K^{-1}$]	měrná tepelná kapacita
d		počet dnů v otopném období
f _i		koefficient vlivu nesoučasnosti výpočetních hodnot
h	[$kJ.kg^{-1}$]	entalpie
i _{LV}	[$m^2.s^{-1}.Pa^{-0,67}$]	součinitel spárové průvzdušnosti
k	[$W.m^{-2}.K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla
l	[m]	délka
m	[$kg.h^{-1}$]	hmotnostní průtok
n	[rok]	doba trvání
p ₁		přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
p ₂		přirážka na urychlení zátoku
q	[$W.m^{-2}$]	hustota tepelného toku
t	[$°C$]	teplota
v	[$m^3.kg^{-1}$]	měrná hmotnost
w	[$m.s^{-1}$]	rychlost proudění
z		koefficient energetických ztrát
α	[$W.m^{-2}.K^{-1}$]	součinitel přestupu tepla
ε		topný faktor
λ	[$W.m^{-1}.K^{-1}$]	součinitel tepelné vodivosti
ρ	[$kg.m^{-3}$]	hustota
τ	[<i>hod</i>]	počet hodin

1. Úvod

Tepelná čerpadla jsou především určena jako zdroj pro vytápění rodinných domů, teplé užitkové vody (TUV) a vody v bazénu. Jsou to ekonomická a ekologická zařízení odebírající teplo z okolního prostředí (voda, vzduch, půda). Toto teplo je svou nízkou teplotou běžným způsobem nevyužitelné neboli nízkopotenciální teplo. TČ jej přeměňuje na teplo o teplotě tak vysoké, že se dá využít například pro vytápění.

Mým úkolem je navrhnout tepelné čerpadlo voda-voda pro vytápění a přípravu TUV pro rodinný dům.

2. Nízkopotenciální teplo

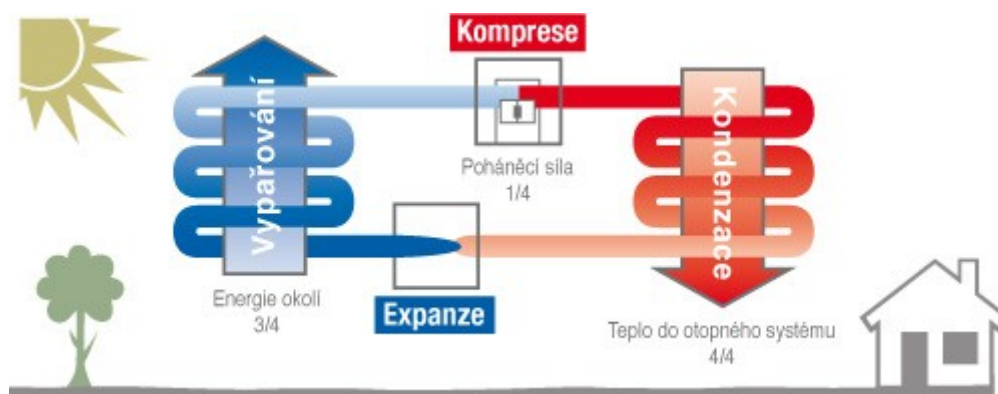
Je to forma energie uložená v každém tělese. Různá tělesa mají různou schopnost teplo uchovat. Čím vyšší teplotu těleso má, tím více je v něm tepelné energie.

2.1 Zdroje

- Země (půda) – hlubinné vrty (až 150m), plošné nebo výkopové kolektory
- Podzemní (studniční) voda – vrty, studnice
- Povrchová voda – nádrže, rybníky, vodoteče
- Venkovní vzduch
- Vnitřní vzduch – vzduch, který je odváděn vetracím systémem budovy
- Geotermální energie

3. Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo (dále TČ) pracuje na podobném principu jako lednice. Ta uvnitř chladí a odebírá teplo potravinám. Teplo předává do výměníku v zadní části. Rozdíl mezi lednicí a tepelným čerpadlem je pouze v opačné funkci a daleko větším výkonu.



Obr. 3.1 - Princip funkce TČ

Popis funkce tepelného čerpadla :

První krok: *Vypařování*

Pracovní látka - chladivo, které koluje v TČ odebírá nízkopotenciální teplo z primárního zdroje energie, tj. ze vzduchu, vody, země. Tím se změní jeho skupenství z kapalného na plynné, tj. odpařuje se.

Druhý krok: *Komprese*

Kompresor stlačí pracovní látku (chladivo). To se stlačením výrazně ohřeje díky fyzikálnímu principu komprese “Čím vyšší tlak, tím vyšší teplota”.

Třetí krok: *Kondenzace*

Zahřáté médium předá pomocí výměníku teplo vodě například v radiátorech. Poté se ochladí a zkondenzuje.

Čtvrtý krok: *Expanze*

Expanzní ventil sníží tlak média, tím se sníží jeho teplota. Následně se ohřeje v dalším výměníku (výparníku), kde se odebere teplo z okolního prostředí a cyklus se opakuje

Část TČ, do které teplo přivádíme, se nazývá primární. Část, ze které se teplo odvádí pro vytápění, se nazývá sekundární.

4. Typy tepelných čerpadel

4.1 Tepelné čerpadlo typu zem /voda využívající hloubkový vrt

Využívá nízkopotenciální energii uloženou v podloží. Obvykle se teplota zvýší o 1 °C každých 30 m. Tedy v hloubce 100m se pohybuje teplota okolo 10 °C. Teplo se získává z vrtů o hloubce 50 až 200 m. Získávání tepla z podloží je nejběžnější řešení.

Výhody:

- nízké provozní náklady
- vrt si uchovává po celý rok přibližně stejnou teplotu
- zanedbatelný negativní dopad na okolní půdu

Nevýhody:

- vyšší investiční náklady
- může se stát, že zamrzne



Obr. 4.1 - TČ zem/voda(vrt)

4.2 Tepelné čerpadlo typu zem / voda využívající povrchový zemní kolektor

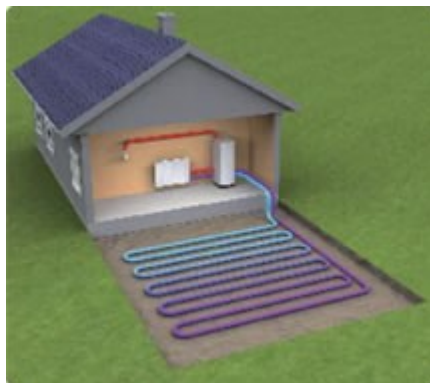
Tepelné čerpadlo, které získává teplo ze sluneční energie uložené v zemi pomocí tzv. zemního kolektoru. Potrubí se nachází přibližně jeden metr pod zemí. Plastové potrubí je naplněno chladivem, které přenáší teplo mezi zemí a TČ.

Výhody:

- nízké investiční a provozní náklady
- není potřeba kopat

Nevýhody:

- zastavovací plocha musí být alespoň 200-400 m²



Obr. 4.2 - TČ zem/voda(kolektor)

4.3 Tepelné čerpadlo typu voda / voda využívající povrchovou vodu

TČ využívající uloženou sluneční energii ve vodě. Na dně rybníku, jezírka či jiné vodní plochy jsou uloženy plastové hadice, které přenášejí teplo mezi vodou a TČ.

Výhody:

- nízké investiční a provozní náklady
- potrubí si uchovává po celý rok přibližně stejnou teplotu

Nevýhody:

- pouze pro objekty ležící blízko vodní plochy



Obr. 4.3 - TČ voda/voda

4.4 Tepelné čerpadlo typu voda / voda využívající podzemní vodu

TČ které čerpá teplo ze spodní nebo geotermální vody. Voda je obvykle čerpána ze studny do výměníku tepelného čerpadla a následně je vrácena zpět do země.

Výhody:

- Zanedbatelný dopad na okolí
- Nejnižší provozní náklady

Nevýhody:

- Lze postavit jen v místě s dostatkem spodní vody



Obr. 4.4 - TČ voda/voda

4.5 Tepelné čerpadlo typu vzduch / voda

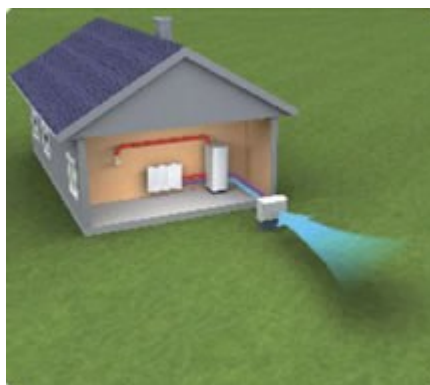
TČ, které využívá energii přímo ze vzduchu za pomoci venkovní vzduchové jednotky. Není nutné kopat či vrtat. Vzduchová jednotka je propojená s TČ obsahující nemrznoucí směs. Dokáže odebírat energii až do -20 °C.

Výhody:

- Rychlá a jednoduchá instalace
- Nízké provozní náklady

Nevýhody:

- Vyšší provozní náklady
- Krátká životnost
- Nízký výkon při nízkých venkovních teplotách



Obr. 4.5 - TČ vzduch/voda

4.6 Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch

TČ, které odebírá energii z venkovního vzduchu. Vzduch jde přímo do TČ. Vyrobené teplo je dále použito pro ohřívání vzduchu uvnitř budovy. Tento typ TČ se dá použít pro rekuperaci tepla, kdy teplý vnitřní vzduch předá teplo nasávanému vzduchu v rekuperační jednotce.

Výhody:

- Jednoduchá a rychlá instalace
- Velmi nízké investiční náklady
- Dokáže vytápět, klimatizovat i čistit vzduch

Nevýhody:

- Nevhodné pro použití do objektů s velkým počtem místností
- Má jen pouze jednu vnitřní jednotku

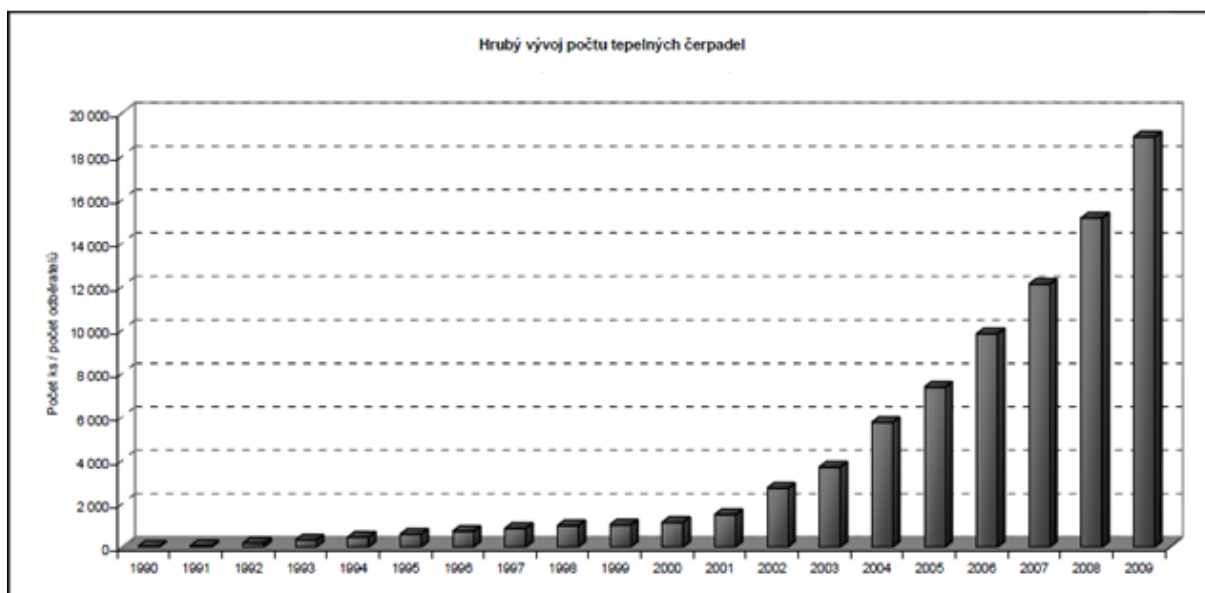


Obr. 4.6 - TČ vzduch/vzduch

5. Stav tepelných čerpadel v ČR

Když se na tepelná čerpadla podíváme od začátku, tak se vrátíme přibližně do roku 1990, kdy se k nám po otevření hranic začaly dovážet TČ především z Německa, Rakouska a Švédska. V letech 1990-2000 nebyl nárůst nijak velký. Příčinou byla nízká cena energií. Doba návratnosti daleko přesahovala dobu životnosti TČ. Po roce 2000 se začala instalace TČ zvyšovat. Důvodem byl nárůst cen energií na českém trhu. Dále pak zavedením sazby, která garantovala nízký tarif po dobu 22 hodin. Následovala dotace státu, při které se dalo dosáhnout až 30% nákladů. Dnes se díky Zelená úsporám můžeme dostat na:

- Dotace na tepelná čerpadla země/voda **75 000 Kč**
- Dotace na tepelná čerpadla vzduch/voda **50 000 Kč**
- Dotace na tepelná čerpadla voda/voda **75 000 Kč**



Obr. 5.1 - Instalace tepelných čerpadel v ČR

Současné stoupání cen zemního plynu, elektřiny a ostatních paliv vede k hledání snížení nákladů na vytápění a ohřev vody. Při dnešních cenách energií se návratnost za instalaci tepelného čerpadla pohybuje kolem 10 let. Za předpokladu, že ceny dále porostou, což je nevyhnutelné se bude instalace TČ dále zvyšovat.

Když se podíváme na rozdělení TČ podle typu, tak zjistíme, že jsou v ČR dominantní pouze dva typy. Jde o tepelné čerpadlo *vzduch/voda*, které zaujímá asi 50% celkové instalace a *země/voda*, které zaujímá přibližně 40%. Dále pak se v ČR vyskytují typy *voda/voda* a *vzduch/vzduch*. Jejich instalace se pohybuje přibližně kolem 10%. Je to dáno jednak poměrem cena/výkon, ale také geologickými podmínkami.

5.1 Stav v Evropě

Prvotní nárůst instalací byl způsoben ropnou krizí v 80. letech. Jeho následovný pokles byl dán více problémy. První z nich byla nedokonalost technických parametrů, které muselo tepelné čerpadlo zvládnout. To vedlo k častým poruchám. Také neuspokojovaly energetickou náročnost z hlediska ekonomiky. Dále pak byla nedostatečná připravenost firem při jejich instalaci. Neuvědomovaly si, že požadavky na instalaci TČ jsou odlišné než u běžných kotlů. Trvalo dlouho dobu než opět začala být poptávka po nových instalacích.

6. Perspektiva tepelných čerpadel

Z ekonomického hlediska jsou už v dnešní době tepelné čerpadla perspektivní. TČ ušetří přibližně 60 - 70 % nákladů za energie. Svými nízkými náklady a velkou životností přináší velké úspory a rychlou návratnost investice. Za předpokladu, že ceny energií budou i nadále stoupat, dá se předpokládat další zkracování doby návratnosti investic a tím i další zvyšování poptávky po TČ což povede k zhromadnění výroby a jejímu zefektivnění a k následnému zlevnění tepelných čerpadel.

Z environmentálního hlediska díky nízké energetické náročnosti a využívání přírodní energie minimalizují zátěž na životní prostředí.

Dále tepelné čerpadlo umožňuje zapojení dalších alternativních zdrojů, jako jsou solární panely pro ohřev teplé užitkové vody či podpory vytápění. TČ můžeme použít i jako klimatizaci.

Z celkového pohledu do budoucna budou tepelné čerpadla určitě vyhledávaným sortimentem zboží, jelikož můžeme počítat s vyčerpáním fosilních paliv na celém světě.

7. Efektivita tepelného čerpadla

Hlavním pojmem spojeným s efektivitou TČ je topný faktor. Topný faktor je závislý na teplotě nízkopotenciálního zdroje energie, teplotě topného média, účinnosti a předávacím schopnostem výměníků. Poměr mezi topným výkonem a příkonem se nazývá topný faktor. Jeho hodnota je vždy větší než 1 (vždycky získáme alespoň trochu energie z okolí) a nejčastěji se pohybuje v rozmezí 2,5 až 5. (např. topný faktor 3 znamená, že z 1 kWh elektrické energie získáme celkem 3 kWh tepelné energie).[9]

$$\varepsilon_T = \frac{Q}{E} \quad [-] \quad (7.1)$$

Q..... Teplo dodané do vytápění [kWh]

E..... Energie pro pohon tepelného čerpadla [kWh]

Topný faktor je bezrozměrné číslo. Čím větší je číslo, tím větší je efektivita tepelného čerpadla a tím také šetříme. Jeho hodnota závisí na vstupní a výstupní teplotě, dále pak na typu kompresoru a dalších okolnostech.

8. Popis objektu

Rodinný dům se nachází ve městě Opava v Moravskoslezském kraji. Opava leží ve výšce 270 m.n.m. Otopné období, které jsem stanovil z klimatologických údajů pro zvolenou teplotu 13°C, při které se začíná topit je 239 dnů.

Rodinný dům je jednopatrový, nepodsklepený s nevytápěnou garáží o vytápěné ploše 64 m². Garáž je vytápěná díky nezateplené zdi mezi domem a garáží. Půda není zateplená. Dům je opatřen dřevěnými eurookny a eurodveřmi. Obvodové zdi o tloušťce 40 cm sendvičové skladby (1 cm vápenná omítka, 8 cm polystyren, 30 cm Ytongové tvárnice a 1 cm vápenná omítka) mají nízký součinitel prostupu tepla.



Obr. 8.1 – Zvolený rodinný dům

9. Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát rodinného domu jsem prováděl pomocí normy ČSN 06 0210.

9.1 Složení jednotlivých vrstev

Stěna:

- Vnější vápenná omítka – $\lambda = 0,880 [W.m^{-1}.K^{-1}]$
- Polystyren – $\lambda = 0,039 [W.m^{-1}.K^{-1}]$
- Ytong P4-500 – $\lambda = 0,15 [W.m^{-1}.K^{-1}]$
- Vnitřní vápenná omítka – $\lambda = 0,880 [W.m^{-1}.K^{-1}]$

Podlaha:

- $k = 0,7 [W.m^{-2}.K^{-1}] \Rightarrow$ pro podlahy s tepelnou izolací

Strop:

- Sádrokarton – $\lambda = 0,22 [W.m^{-1}.K^{-1}]$
- Izolace Rockwool – $\lambda = 0,036 [W.m^{-1}.K^{-1}]$
- Dřevo – $\lambda = 0,22 [W.m^{-1}.K^{-1}]$

9.2 Výpočet součinitele prostupu tepla

Výpočet ze vztahu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (9.1)$$

α ... součinitel přestupu tepla $[W.m^{-2}.K^{-1}]$

l ... tloušťka materiálu $[m]$

λ ... součinitel tepelné vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$

Součinitele přestupu tepla volím dle normy ČSN 06 0210:

$$\alpha_1 = 8 [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

$$\alpha_2 = 22 [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

Stěna (mimo garážovou):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,08}{0,039} + \frac{0,3}{0,15} + \frac{0,01}{0,88} + \frac{0,01}{0,88} + \frac{1}{22}} = 0,2356 \text{ W.m}^{-2}.K^{-1}$$

Stěna (garážová):	$k = 0,455$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
Podlaha	$k = 0,7$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
Strop	$k = 0,221$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
Okna	$k = 1,8$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
Dveře domovní	$k = 3,7$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
Dveře terasové	$k = 1,8$	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$

9.3 Výpočet tepelných ztrát dle ochlazovaných ploch

$$Q_0 = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (9.2)$$

k ... součinitel prostupu tepla $[W.m^{-2}.K]$

S ... plocha ochlazované části konstrukce $[m^2]$

t_i ... výpočtová vnitřní teplota $[^\circ C]$

t_e ... výpočtová venkovní teplota $[^\circ C]$

Vnitřní výpočtovou teplotu volím $22^\circ C$ z důvodu přání majitele, jinak bych volil $20^\circ C$.

Teplota v garáži je $5^\circ C$. Venkovní teplota zateplených podlah se volí $-5^\circ C$. Díky nezateplené půdě se počítá s teplotou $-6^\circ C$.

Tepelná ztráta stěn (mimo garážovou):

$$Q_{0,S} = 0,2356.112,667. (22 + 15) = 982,141 W$$

Tepelná ztráta stěny (garážová):

$$Q_{0,SG} = 0,455.29,6. (22 - 5) = 228,956 W$$

Tepelná ztráta podlahy:

$$Q_{0,P} = 0,7.64. (22 + 5) = 1209,6 W$$

Tepelná ztráta stropu:

$$Q_{0,STR} = 0,221.64. (22 + 6) = 396,032 W$$

Tepelná ztráta oken:

$$Q_{0,O} = 1,8.11,005. (22 + 15) = 732,933 \text{ W}$$

Tepelná ztráta dveří

$$Q_{0,D} = [3,7.1,929. (22 + 15)] + [1,8.4. (22 + 15)] = 530,48 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta bez přírážek:

$$Q_{0,CELK} = Q_{0,S} + Q_{0,G} + Q_{0,P} + Q_{0,STR} + Q_{0,O} + Q_{0,D} \quad [W] \quad (9.3)$$

$$Q_{0,CELK} = 982,141 + 228,956 + 1209,6 + 396,032 + 732,933 + 530,48 = 4080 \text{ W}$$

9.4 Výpočet tepelných ztrát s přírážkami

$$Q_P = Q_{O,CELK} \cdot (1 + p_1 + p_2) \quad [W] \quad (9.4)$$

$Q_{O,CELK} \dots$ tepelná ztráta ochlazovaných ploch

$p_1 \dots$ přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [-]

$p_2 \dots$ přírážka na urychlení zátoku (nebudeme s ní počítat) [-]

Průměrný součinitel prostupu tepla:

$$k_c = \frac{Q_{O,CELK}}{S \cdot (t_i - t_e)} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K] \quad (9.5)$$

$S \dots$ plocha ochlazované části konstrukce [m]

$$k_c = \frac{4080}{287,2 \cdot (22 + 15)} = 0,384 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn:

$$p_1 = 0,06 \cdot k_c \quad [-] \quad (9.6)$$

$$p_1 = 0,06 \cdot 0,384 = 0,023$$

Dle vzorce 9.4 vypočítám výslednou tepelnou ztrátu s přírážkami

$$Q_P = 4080 \cdot (1 + 0,023 + 0) = 4173,84 \text{ W}$$

9.5 Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = 1300 \cdot V_V \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (9.7)$$

$V_V \dots$ objemový tok větracího vzduchu $[m^3 \cdot s^{-1}]$

Potřebný průtok V_{vH}

$$V_{vH} = \frac{n_H}{3600} \cdot V_m \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (9.8)$$

$V_m \dots$ objem vnitřního prostoru $[m^3]$

$n_H \dots$ požadovaná intenzita vzduchu \Rightarrow pro byty 0,5 $[h^{-1}]$

$$V_{vH} = \frac{0,5}{3600} \cdot 345,6 = 0,048 \text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

Potřebný průtok V_{vP}

$$V_{vP} = \sum(i_{VL} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (9.9)$$

$\sum(i_{VL} \cdot L) \dots$ součinitel průvzdušnosti oken a dveří

$i_{VL} \dots$ součinitel spárové provzdušnosti $[m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$

$L \dots$ délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří $[m]$

$B \dots$ charakteristické číslo budovy $[Pa^{-0,67}]$

$M \dots$ charakteristické číslo místnosti $[-]$

dle normy ČSN 06 0210 volím tyto hodnoty:

$$i_{VL} = 1,4 \cdot 10^{-4} \quad [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$$

$$L = 25,06 \quad [m]$$

$$B = 4 \quad [Pa^{-0,67}]$$

$$M = 0,7 \quad [-]$$

$$V_{vP} = \sum(1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 25,06) \cdot 4,07 = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot s^{-1}$$

Volím V_{vH} protože má vyšší hodnotu. Dle vzorce 9.7 následně vypočítám tepelnou ztrátu větráním.

$$Q_V = 1300 \cdot 0,048 \cdot (22 + 15) = 2308,8 \text{ W}$$

9.6 Celkové tepelné ztráty

Celkovou tepelnou ztrátu domu vypočítáme sečtením jednotlivých ztrát.

$$Q_C = Q_P + Q_V \quad [W] \quad (9.10)$$

$Q_P \dots$ tepelná ztráta s přírážkami $[W]$

$Q_V \dots$ tepelná ztráta větráním $[W]$

$$Q_C = 4173,84 + 2308,8 = 6482 \text{ W}$$

10. Spotřeba tepla na vytápění

Spotřebu tepla na vytápění počítám dle literatury [3] a [5].

Základní klimatologické údaje:

Lokalita:	Opava
Výška nad mořem:	270 m.n.m
Nejnižší venkovní výpočtová teplota:	$t_e = -15\text{ °C}$
Průměrná vnitřní teplota:	$t_{is} = 22\text{ °C}$
Průměrná teplota topného období	$t_{es} = 3,9\text{ °C}$
Mezní teplota:	$t_{em} = 13\text{ °C}$
Počet otopných dnů:	239 dnů

10.1 Výpočet denostupňovou metodou

Dle vzorce určíme počet klimatických denostupňů.

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [K.den] \quad (10.1)$$

$d \dots$	počet otopných dnů	$[den]$
$t_{is} \dots$	průměrná vnitřní teplota	$[^{\circ}C]$
$t_{es} \dots$	průměrná teplota topného období	$[^{\circ}C]$

$$D = 239 \cdot (22 - 3,9) = 4325,9 \text{ K.den}$$

Roční spotřeba tepla:

$$Q_{vyt,r} = 24 \cdot Q_C \cdot f_1 \cdot \frac{D}{t_{is} - t_e} \quad [kWh.rok^{-1}] \quad (10.2)$$

$Q_C \dots$	celková tepelná ztráta domu	[W]
$f_1 \dots$	koeficient vlivu nesoučasnosti výpočetních hodnot	[-]
$D \dots$	počet denostupňů	[K.den]
$t_{is} \dots$	průměrná vnitřní teplota	[°C]
$t_{es} \dots$	průměrná teplota topného období	[°C]

Volbu koeficientu f_1 jsem provedl v literatuře [5]

$$Q_{vyt,r} = 24 \cdot 6482,075 \cdot \frac{4325,9}{22 + 15} = 13641 kWh.rok^{-1}$$

11. Spotřeba teplé užitkové vody

Výpočet spotřeby tepla TUV počítám dle literatury [3].

Denní odběr tepla pro TUV:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c_v \cdot v_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [kWh.den^{-1}] \quad (11.1)$$

$z \dots$	koeficient energetických ztrát	[-]
$\rho \dots$	hustota vody	[kg.m ⁻³]
$c_v \dots$	měrná tepelná kapacita vody	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
$v_{2p} \dots$	celková potřeba teplé vody za 1 den	[m ³ .den ⁻¹]
$t_2 \dots$	teplota ohřáté vody	[°C]
$t_1 \dots$	teplota studené vody	[°C]

výpočtové hodnoty:

$z =$	0,3	[-]
$\rho =$	1000	[kg.m ⁻³]
$c_v =$	4180	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
$t_2 =$	50	[°C]
$t_1 =$	10	[°C]

Potřeba teplé vody na den:

$$V_{2p} = n \cdot 0,082 \quad [m^3.den^{-1}] \quad (11.2)$$

$n \dots$	počet osob	[-]
-----------	------------	-----

$$V_{2p} = 4.0,082 = 0,328 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,3) \cdot \frac{1000 \cdot 4180 \cdot 0,328 \cdot (50 - 10)}{3600} = 19,803 \text{ kWh} \cdot \text{den}^{-1}$$

Roční odběr tepla pro TUV:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{SVL}}{t_2 - t_{SVZ}} \cdot (N - d) \quad [\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (11.3)$$

$Q_{TUV,d} \dots$	denní odběr tepla pro TUV	$[\text{kWh} \cdot \text{den}^{-1}]$
$d \dots$	počet otopných dnů	$[\text{den}]$
$t_2 \dots$	teplota ohřáté vody	$[^{\circ}\text{C}]$
$t_{SVL} \dots$	teplota studené vody v létě	$[^{\circ}\text{C}]$
$t_{SVZ} \dots$	teplota studené vody v zimě	$[^{\circ}\text{C}]$
$N \dots$	počet pracovních dní soustavy	$[\text{den}]$
výpočtové hodnoty:		
$t_{SVL} =$	15	$[^{\circ}\text{C}]$
$t_{SVZ} =$	10	$[^{\circ}\text{C}]$
$N =$	365	$[\text{dnů}]$
$d =$	239	$[\text{dnů}]$

$$Q_{TUV,r} = 19,803 \cdot 239 + 0,8 \cdot 19,803 \cdot \frac{50 - 15}{50 - 10} \cdot (365 - 239) = 6319 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

12. Celková spotřeba tepla

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} \quad [\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (12.1)$$

$$Q_r = 13641 + 6319 = 19960 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

13. Návrh tepelného čerpadla a jeho zapojení do otopného systému

Díky nízké tepelné ztrátě domu $Q_c = 6,48 \text{ kW}$ můžeme navrhnout tepelné čerpadlo voda-voda jako monovalentní zdroj. Rodinný dům již má postavenou čerpací studnu, kde byla následně provedena čerpací zkouška. Průtok vody byl vyhodnocen jako dostačující.

Výpočet příkonu tepelného čerpadla:

$$P = \frac{Q_c}{\varepsilon_T} \quad [W] \quad (13.1)$$

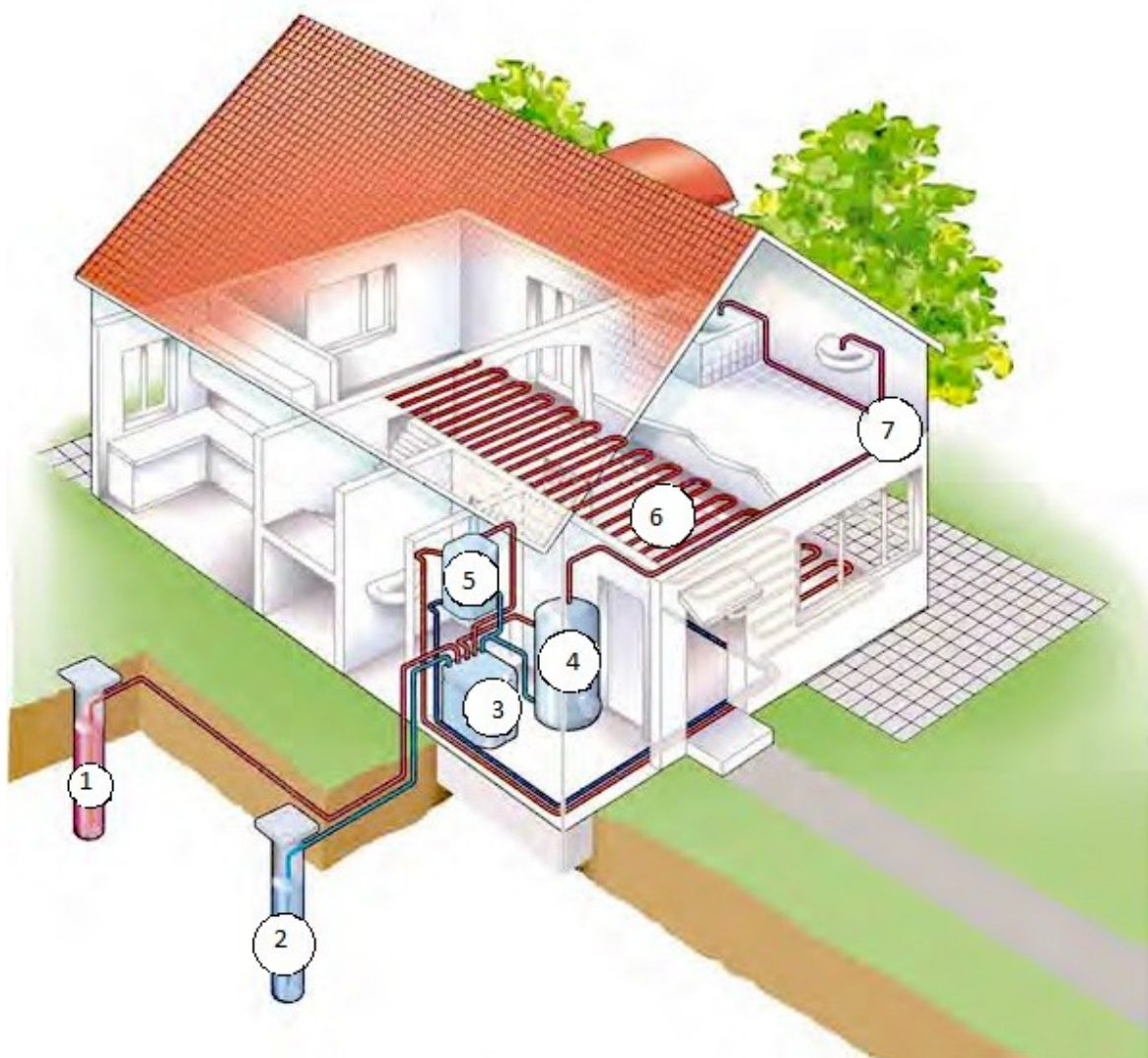
$Q_c \dots$ tepelná ztráta domu [W]

$\varepsilon_T \dots$ topný faktor [-]

$$P = \frac{6,482}{3} = 2,16 \text{ kW}$$

Při výběru tepelného čerpadla jsem vycházel z technických a cenových údajů. Zvolil jsem tepelné čerpadlo Aquamaster 22Z-2010 od firmy Mastertherm. Topný faktor je 4. Jelikož nám tepelné čerpadlo nebude pracovat celý rok naplno, tak v následujících výpočtech počítám s topným faktorem 3 a tím i nižším topným výkonem. Celkové technické údaje jsou uvedeny v příloze č.1

Zapojení do otopného systému:



- 1... Čerpací studna
- 2... Vsakovací studna
- 3... Tepelné čerpadlo
- 4... Nádrž na TUV

- 5... Akumulační nádoba
- 6... Topný systém
- 7... Rozvod TUV

14. Ekonomické zhodnocení

Tepelné čerpadlo Aquamaster 22Z-2010 porovnávám s plynovým kotlem, který slouží v domě jako hlavní zdroj pro vytápění a ohřev TUV. Čerpací studna je zde již postavena. Čerpací zkouška byla provedena a průtok vody byl stanoven jako dostačující.

Investiční náklady:

• Tepelné čerpadlo Aquamaster 22Z-2010	137 900 Kč
• Nádrž TUV na 300 litrů	17 200 Kč
• Akumulační nádoba Puffer PSR 300L	21 950 Kč
• Cena vybudování vsakovací studny	24 000 Kč
• Příslušenství	15 000 Kč
CELKEM	216 050 Kč

14.1 Výpočet množství energie pro ohřev TUV

Počet dnů provozu TČ:

letní období... 126 dnů

zimní období... 239 dnů

Množství tepla potřebné pro ohřátí TUV:

$$Q_{TUV} = Q_{TUV,d} \cdot d \quad [kWh] \quad (14.1)$$

d... počet dnů provozu v daném období [den]

$$Q_{TUV,L} = 19,803.126 = 2495 kWh$$

$$Q_{TUV,Z} = 19,803.239 = 4733 kWh$$

Počet hodin ohřevu TUV:

$$\tau_{období} = Q_{TUV}/Q_{TČ} \quad [hod] \quad (14.2)$$

$Q_{TČ}$... výkon tepelného čerpadla [W]

$$\tau_{TČ-L} = \frac{2495}{6,48} = 385 hod$$

$$\tau_{TČ-Z} = \frac{4733}{6,48} = 730 hod$$

Množství potřebné energie pro určité období:

$$E_{TUV} = P \cdot \tau \quad [W] \quad (14.3)$$

P... příkon tepelného čerpadla

$$E_{TUV,L} = 2,16.385 = 831,6 \text{ kWh}$$

$$E_{TUV,Z} = 2,16.730 = 1576,8 \text{ kWh}$$

$$E_{TUV,CELKEM} = 831,6 + 1576,8 = 2408,4 \text{ kWh}$$

Pro plynový kotel je množství potřebné energie:

$$E_{TUV,KOTEL} = 7300 \text{ kWh}$$

14.2 Výpočet potřeby energie na vytápění

Spotřeba energie tepelného čerpadla:

$$E_{T\check{C},VYT} = Q_{VYT,r} / \varepsilon_{skut} \quad [kWh.rok^{-1}] \quad (14.4)$$

$\varepsilon...$ skutečný topný faktor [-]

$$E_{T\check{C},VYT} = \frac{13641}{3} = 4547 \text{ kWh.rok}^{-1}$$

Spotřeba energie plynového kotle:

$$E_{VYT,KOTLE} = 13641 \text{ kWh.rok}^{-1}$$

14.3 Celková spotřeba el. energie

Tepelné čerpadlo:

$$E_{CELK} = E_{TUV,CELKEM} + E_{VYT,CELKEM} \quad [kWh.rok^{-1}] \quad (14.5)$$

$$E_{CELK} = 2408,4 + 4547 = 6955,4 kWh.rok^{-1}$$

Plynový kotel:

$$E_{CELK} = 7300 + 13641 = 20941 kWh.rok^{-1}$$

14.4 Provozní náklady

Ceny energií použity z cen produktů Skupiny ČEZ pro domácnosti na rok 2011

Tepelné čerpadlo:

tarif D56d

cena el. energie	VT-	2910,44 Kč.MWh ⁻¹
	NT-	2407,61 Kč.MWh ⁻¹
spotřeba el. energie pro domácnost přibližně	4800	kWh.rok ⁻¹
měsíční platba za jistič 3x32A	460,8	Kč

Spotřeba el. energie:

$$N_{TČ} = 6,955.2407,61 = 16745 Kč$$

Domácnost:

$$N_{DOM} = 4,4.2407,61 + 0,4.2910,44 = 11757 Kč$$

Stálá platba za jistič 3x32A:

$$N_{JISTIČ} = 12.460,8 = 5529,6 Kč$$

Celkové náklady:

$$N_{TČ,CELK} = 16745 + 11757 + 5529 = 34031 \text{ Kč}$$

Plynový kotel:

tarif D02d

ceny el. energie	VT-	4645,31 Kč.MWh ⁻¹
cena za plyn		1092 Kč.MWh ⁻¹
spotřeba el. energie pro domácnost přibližně		4800 kWh.rok ⁻¹
měsíční platba za jistič 3x32A		115,20 Kč
stálý měsíční plat za kapacitu		168,984 Kč

Spotřeba plynu v kotli:

$$N_{KOTLE} = 20,941.1731,96 = 36269 \text{ Kč}$$

Domácnost:

$$N_{DOM} = 4,8.4645,31 = 22297 \text{ Kč}$$

Stálá platba za jistič 3x32A:

$$N_{JISTIČ} = 12.115,2 = 1382,4 \text{ Kč}$$

Stálé měsíční poplatky:

$$N_{POPLATKY} = 12.168,984 = 2027,8 \text{ Kč}$$

Celkové náklady:

$$N_{KOTLE,CELK} = 36269 + 22297 + 1382,4 + 2027,8 = 61976 \text{ Kč}$$

14.5 Návratnost

Bez dotace:

$$n = \frac{N_C}{N_{KOTLE} - N_{TČ}} \quad [rok] \quad (14.6)$$

$N_C \dots$ celkové náklady [Kč]

$N_{KOTLE} \dots$ náklady za kotle [Kč]

$N_{TČ} \dots$ náklady tepelného čerpadla [Kč]

$$n = \frac{216050}{61976 - 34031} = 7,7 \text{ roků}$$

Dotace Zelená úsporám:

pro tepelné čerpadlo voda-voda 75 000Kč

$$n = \frac{216050 - 75000}{61976 - 34031} = 5 \text{ roků}$$

15. Environmentální hledisko

Pokud porovnáme spotřebu primární energie (energie obsažené v palivu) pro výrobu elektřiny v tepelné elektrárně se spotřebou kotle v rodinném domku, lze dokázat, že tepelné čerpadlo poháněné elektrickou energií snižuje spotřebu primární energie již od průměrného ročního topného faktoru asi 2,2.

Pracovní látkou (chladičem) ve většině tepelných čerpadel jsou freony. Ty lze rozdělit na tzv. tvrdé (CFC) a měkké (HCFC a HFC). Tvrdé freony velmi účinně ničí ozónovou vrstvu. Vyskytují se jen u starších tepelných čerpadel. Měkké freony (HCFC) poškozují ozónovou vrstvu asi o 95% méně než freony tvrdé. HFC jsou pro ozón neškodná.[1]

Znečišťující látka	Tepelné čerpadlo	Zemní plyn	Přímotop
Tuhé látky[kg/rok]	3,1	0,1	9,9
SO₂[kg/rok]	15,6	0	49,3
NO₂[kg/rok]	13,2	4,8	41,8
CO[kg/rok]	3,3	1	10,5
C_xH_y[kg/rok]	0	0,2	0
CO₂[t/rok]	7,5	5,9	23,6

Tabulka 15.1 – emise při dodávce tepla 90GJ

16. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout tepelné čerpadlo voda-voda pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody v rodinném domě a ekonomická úvaha o jeho návratnosti

Výpočtem byla určena tepelná ztráta domu, která má hodnotu $Q_c=6,48$ kW a dále pak potřeba tepla pro vytápění $Q_{vyt,r}= 13641$ kWh/rok a potřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody $Q_{TUV}= 6319$ kWh/rok. Výpočet byl proveden dle norem ČSN 06 0210 a ČSN 38 3350.

Dle výsledků výpočtu bylo z nabídek firem Nibe, Mastertherm a AC Heating vybráno tepelné čerpadlo Aquamaster 22Z-2010 od firmy Mastertherm. Čerpadlo je navrženo jako monovalentní. Důvodem je nízká tepelná ztráta domu (pod 10kW) a stálý topný faktor, který má hodnotu cca 3.

Ekonomickým propočtem a porovnáním nákladů plynového kotle, který slouží v rodinném domě jako primární zdroj pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody s tepelným čerpadlem Aquamaster 22Z-2010 bylo stanoveno, že návratnost u konkrétního typu čerpadla bez dotací se pohybuje kolem 7 a půl let, s dotacemi pak okolo 5-ti let. Z toho se dá usoudit, že pro tento rodinný dům by se nákup a instalace daného tepelného čerpadla vyplatily jak s dotací, tak i bez ní.

17. Seznam použité literatury

- [1] SRDEČNÝ, Karel ; TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. Brno : ERA, 2007. 67 s. ISBN 978-80-7366-089-5.
- [2] DVOŘÁK, Z. ; KLAZAR, L., PETRÁK, J. *Tepelná čerpadla*. Praha : SNTL, 1987. 339 s. L12-B3-IV-31/22902
- [3] DAHLSVEEN, T., PETRÁŠ, D., HIRŠ, J. *Energetický audit budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2003. 295s. ISBN 80-88905-86-9.
- [4] KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998. 102s. ISBN 80-7078-445-8.
- [5] STÁRKOVÁ, M., MRÁZEK K. *Klimatologické údaje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství Stavebně technický ústav – Energetika budov a. s., 2006. 277s.
- [6] TURNER, W., DOTY, S. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400s. ISBN 0-13-728098-X.

Norma

- [7] ČSN 06 0210

WWW Stránky

- [8] www.ekoportal.cz - Ekoportál
- [9] www.tzb-info.cz/ - Technická zařízení budov, energetika obecně
- [10] www.energetickyporadce.cz - Odborné poradenství v oblasti hospodárního využívání elektřiny a obnovitelných zdrojů energie
- [11] www.iexton.cz - Tepelná čerpadla, ekologické vytápění
- [12] www.asb-portal.cz - Architektura, stavebnictví, byznys
- [13] www.mpo.cz - Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
- [14] <http://tepelna.cerpadla.cz.sweb.cz> - Firma zabývající se tepelnými čerpadly

Přílohy:

- Příloha č.1 Technické údaje TČ Aquamaster 22Z-2010
- Příloha č.2 Zapojení tepelného čerpadla